

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2003-218428**

(43)Date of publication of application : **31.07.2003**

51)Int.Cl.

H01L 43/08
G11B 5/39
H01F 10/16
H01F 10/32

21)Application number : 2002-015001

(71)Applicant : **ALPS ELECTRIC CO LTD**

22)Date of filing : 24.01.2002

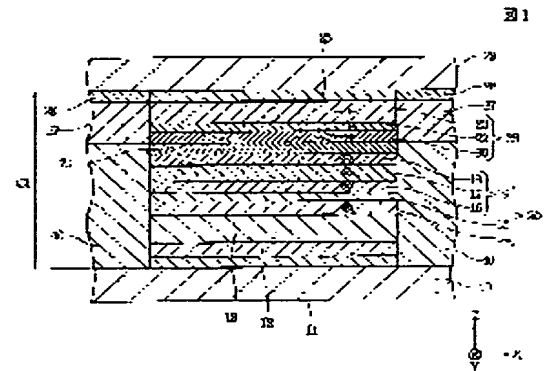
(72)Inventor : SAITO MASAJI

54) MAGNETIC DETECTING ELEMENT

57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a CPP type magnetic detecting element that can be improved in resistance variation (ΔR) and resistance variation rate ($\Delta R/R$) by improving the qualities of the materials and film structures of a fixed magnetic layer and/or a free magnetic layer.

SOLUTION: In the fixed and free magnetic layers 20 and 26, magnetic layers 17 and 22 constituted of ferromagnetic metalloid alloy layers are respectively formed. Since the magnetic layers 17 and 22 have large β -values and high specific resistance values ρ as compared with the conventional CoFe alloy, etc., the resistance variation (ΔR) of this magnetic detecting element can be made larger than the conventional example and the resistance variation rate ($\Delta R/R$) of this element can be improved appropriately.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.06.2004

Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3607678

[Date of registration] 15.10.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-15130

Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 21.07.2004

[Date of extinction of right]

文献2

[0069], [0070], 図2

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-218428

(P2003-218428A)

(43)公開日 平成15年7月31日(2003.7.31)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 5 D 0 3 4 M 5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/39		G 1 1 B 5/39	
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/16	
10/32		10/32	
審査請求 有 請求項の数12 O L (全 14 頁)			

(21)出願番号 特願2002-15001(P2002-15001)

(22)出願日 平成14年1月24日(2002.1.24)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72)発明者 斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74)代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

Fターム(参考) 5D034 BA03 BA04 BA05 BA09 BA12
CA04 CA08

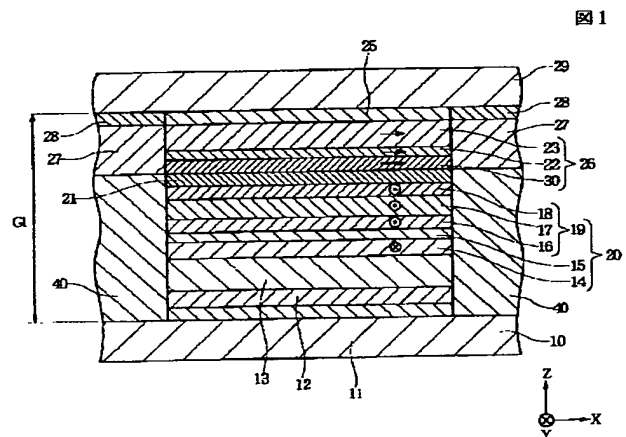
5E049 AA01 AA04 AA07 BA16 CB01

(54)【発明の名称】 磁気検出素子

(57)【要約】

【課題】 CPP型磁気検出素子において、固定磁性層及び/またはフリー磁性層の材質および膜構造を改良することで、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能な磁気検出素子を提供することを目的としている。

【解決手段】 固定磁性層20及びフリー磁性層26には、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成された磁性層17、22が形成されている。前記ハーフメタル的な性質を有する合金層からなる磁性層17、22は、従来のCoFe合金などに比べて β 値が大きく、また比抵抗値 ρ も大きいから、従来よりも抵抗変化量 ΔR を大きくすることができ、抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を適切に図ることが可能になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を有する多層膜が設けられ、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、

前記固定磁性層及びフリー磁性層の少なくとも一方は、強磁性且つハーフメタル的な合金層を有して形成されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記合金層は、組成式が X_2YZ （ただし X は、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、 Y は Mn 、 Z は、 Al 、 Si 、 Ga 、 Ge 、 In 、 Sn 、 Tl 、 Pb 、 Sb のうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金で形成される請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項3】 前記ホイスラー合金は、 Co_2MnZ （ Z は、 Al 、 Si 、 Ga 、 Ge 、 Sn のうちから選択された1種または2種以上の元素）である請求項2記載の磁気検出素子。

【請求項4】 前記合金層は、組成式が XYZ （ただし X は、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、 Y は Mn 、 Z は、 Al 、 Si 、 Ga 、 Ge 、 In 、 Sn 、 Tl 、 Pb 、 Sb のうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金で形成される請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項5】 前記ホイスラー合金は、 $NiMnSb$ 、 $PtMnSb$ 、 $PdMnSb$ 、 $PtMnSn$ である請求項4記載の磁気検出素子。

【請求項6】 前記合金層は、 $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ 、 CrO_2 、あるいは F_3O_4 で形成される請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項7】 前記固定磁性層及び／またはフリー磁性層は2層以上の磁性層の積層構造からなり、それら磁性層のうち、前記非磁性材料層と接する磁性層に前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成される請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項8】 前記固定磁性層及び／またはフリー磁性層は2層以上の磁性層の積層構造からなり、それら磁性層のうち、前記非磁性材料層と接する磁性層以外の磁性層に前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成される請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項9】 前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成された磁性層以外の磁性層は $CoFe$ 合金、 $CoFeNi$ 合金、 $NiFe$ 合金あるいは Co のいずれかの磁性材料で形成される請求項7または8に記載の磁気検出素子。

【請求項10】 前記固定磁性層及び／またはフリー磁性層は磁性層の3層構造からなり、それら3層のうち、真ん中の磁性層に強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成される請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項11】 前記真ん中の磁性層以外の磁性層は $CoFe$ 合金、 $CoFeNi$ 合金、 $NiFe$ 合金あるいは Co のいずれかの磁性材料で形成される請求項10記載の磁気検出素子。

【請求項12】 前記固定磁性層及び／またはフリー磁性層は、第1磁性層と第2磁性層間に非磁性中間層が介在する積層フェリ構造であり、少なくとも前記磁性層のうち非磁性材料層と接する側の第1磁性層が、前記強磁性且つハーフメタル的な合金層を有する多層構造、あるいは前記強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造で形成される請求項1ないし11のいずれかに記載の磁気検出素子。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、CPP (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子に係り、特に抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上を効果的に図ることが可能な磁気検出素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 図8は従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0003】 符号1は、下部電極であり、前記下部電極1の上に $PtMn$ などの反強磁性層2が形成されている。さらに前記反強磁性層2の上には $CoFe$ などで形成された固定磁性層3が形成され、前記固定磁性層3の上には Cu などで形成された非磁性材料層4が形成され、さらに前記非磁性材料層4の上には $NiFe$ などで形成されたフリー磁性層5が形成されている。図8に示すように前記フリー磁性層5の上には上部電極6が形成されている。

【0004】 図8に示すように、前記固定磁性層3の磁化は、前記反強磁性層2との交換異方性磁界によって図示Y方向に固定される。

【0005】 また前記フリー磁性層5の磁化は、前記フリー磁性層5のトラック幅方向（図示X方向）の両側に形成された図示しないハードバイアス層からの縦バイアス磁界によって図示X方向に揃えられる。

【0006】 図8に示す磁気検出素子は、電極1、6から流れる電流が、反強磁性層2からフリー磁性層5までの多層膜を膜厚方向（図示Y方向）に流れるCPP (current perpendicular to the plane) 型と呼ばれる磁気検出素子である。

【0007】 CPP型の磁気検出素子は、電極から流れる電流が、反強磁性層2からフリー磁性層5までの多層膜を膜面と平行な方向（図示X方向）に流れるCIP (current in the plane) 型の磁気検出素子に比べて、素子サイズの狭小化によって再生出力を大きくでき、CPP型は、今後の高記録密度化に伴う素子サイズの狭小化に適切に対応できるものと期待された。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで今後の高記録密度化に向けたC P P型磁気検出素子の実用化の一つの課題として、抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上がある。抵抗変化率の向上を図るには、抵抗変化量 (ΔR) を向上させなければならない。

【0009】前記抵抗変化量 (ΔR) は、 $[\beta^2/(1-\beta^2)] \cdot \rho_F \cdot t_F$ に比例することがわかっている。ここで β は、強磁性層（固定磁性層3及びフリー磁性層5）の材質によって決定される値であり、 $\rho \downarrow / \rho \uparrow = (1+\beta)/(1-\beta)$ [ここで $\rho \downarrow$ は、伝導電子のうちダウンスピンの伝導電子に対する比抵抗値であり、 $\rho \uparrow$ は、伝導電子のうちアップスピンの伝導電子に対する比抵抗値である] なる関係式が成り立っている。

【0010】また ρ_F は強磁性層の比抵抗値（ダウンスピン及びアップスピンの伝導電子に対する比抵抗値の平均値）であり、 t は強磁性層の膜厚である。

【0011】従来、強磁性層としてはC o F e合金などが使用されていた。前記C o F e合金は、前記 β 値が概ね0.5であり、また比抵抗値 ρ_F は、概ね $16 \mu \Omega \cdot \text{cm}$ であった。

【0012】また「How predictable is the current perpendicular to plane magnetoresistance?(invited)」(J. Appl. Phys. 79(8), 15 April 1996) の表1には、C o の β 値が0.38~0.54、N i 84 F e 16 の β 値が0.34~0.66であることが記載されている。

【0013】また「Andreev reflection: A new means to determine the spin polarization of ferromagnetic materials」(1999 American Institute of Physics) のグラフ4には、N i F e、C o、N i 及び F e の分極率 P が概ね0.33~0.45であることが開示されている。なおここで「分極率 P 」は、上記した β 値と相関があり、分極率 P が大きいと β 値（絶対値）も大きくなることがわかっている。

【0014】しかしながらC o F e合金、C o、N i 84 F e 16、N i F e、N i 及び F e などの磁性材料では、前記 β 値や分極率 P などが十分に大きな値ではなく、今後の高記録密度化に適切に対応するには、さらに抵抗変化量 (ΔR) を大きくして、抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上を図ることが期待された。

【0015】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に磁性層の材質および膜構造を改良することで、抵抗変化量 (ΔR) 及び抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上を図ることが可能な磁気検出素子を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を有する多層膜が設けられ、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に電流が流れる磁気検出素子において、前記固定磁性層及

びフリー磁性層の少なくとも一方は、強磁性且つハーフメタル的な合金層を有して形成されていることを特徴とするものである。

【0017】本発明はC P P型の磁気検出素子であり、センス電流は、前記多層膜の各層の膜面と垂直方向に流れる。

【0018】本発明では、前記固定磁性層及びフリー磁性層の少なくとも一方は、強磁性且つハーフメタル的な合金層を有して形成されていることに特徴がある。「ハーフメタル (Half-metal) 的」とは、強磁性体や反強磁性体において、片方のスピンの伝導電子が金属的な振る舞いをし、他方のスピンの伝導電子が絶縁体的な振る舞いをするをいう。

【0019】従来、強磁性層に使用されていたC o F e合金などの磁性材料は、金属的な性質を有していたが、ハーフメタル的な性質を有する合金層は、前記C o F e合金などに比べて β 値あるいは分極率 P が大きく（具体的には β 値（絶対値）は0.7以上または分極率 P （絶対値）は0.5以上）、また比抵抗値 ρ も大きいことから、前記固定磁性層及び/またはフリー磁性層に前記強磁性且つハーフメタル的な合金層を含むことで、従来よりも抵抗変化量 ΔR を大きくすることができ、抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上を適切に図ることが可能になる。

【0020】前記 β 値が大きくなることにより抵抗変化量 (ΔR) が大きくなる理由（メカニズム）は、前記 β 値が大きくなると、片方のスピンの伝導電子に対する比抵抗値 ($\rho \downarrow$) が大きくなり、逆に他方のスピンの伝導電子に対する比抵抗値 ($\rho \uparrow$) は小さくなり、これはすなわち前記片方のスピンの伝導電子が強磁性層内を流れにくくなりあるいはシャットアウトされて前記ダウンスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなる（絶縁的な挙動を示す）一方、他方のスピンの伝導電子が強磁性層内を流れやすくなり他方のスピンの伝導電子の平均自由行程が延びる（金属的な挙動を示す）ことでアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差が大きくなったからであると考えられる。

【0021】また前記分極率 P が大きくなることにより抵抗変化量 (ΔR) が大きくなる理由（メカニズム）は、前記分極率 P が大きくなると、片方のスピンはフェルミエネルギー近傍の状態密度が高く（＝個数が多く）なり、一方、他方のスピンはフェルミエネルギー近傍の状態密度が低く（＝個数が少なく）なり、これによって前記アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差が大きくなって、抵抗変化量 (ΔR) が大きくなったからであると考えられる。

【0022】このような作用はスピン偏極性と呼ばれ、前記スピン偏極性の大きさは、フリー磁性層26と固定磁性層20との相対的な磁化方向の関係で変化する。

【0023】また本発明では、前記合金層は、組成式が X_2Y_2Z （ただし X は、周期表のI I I A族からI I B

族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Ti、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素)で表されるホイスラー合金で形成されることが好ましい。具体的には、前記ホイスラー合金は、 Co_2MnZ (Zは、Al、Si、Ga、Ge、Snのうちから選択された1種または2種以上の元素)であることが好ましい。

【0024】または本発明では、前記合金層は、組成式がXYZ (ただしXは、周期表のⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Ti、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素)で表されるホイスラー合金で形成されることが好ましい。具体的には、前記ホイスラー合金は、NiMnSb、PtMnSb、PdMnSb、PtMnSnであることが好ましい。

【0025】また本発明では、前記合金層は、 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 、 CrO_2 、あるいは F_3O_4 で形成されてもよい。

【0026】本発明では、前記固定磁性層及び/またはフリー磁性層は2層以上の磁性層の積層構造からなり、それら磁性層のうち、前記非磁性材料層と接する磁性層に前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成されることが好ましい。前記非磁性材料層と接する磁性層が最も抵抗変化率に寄与する部分であるから、この部分に強磁性且つハーフメタル的な合金層を形成することで、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能になると考えられる。

【0027】また本発明では、前記固定磁性層及び/またはフリー磁性層は2層以上の磁性層の積層構造からなり、それら磁性層のうち、前記非磁性材料層と接する磁性層以外の磁性層に前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成されることが好ましい。上記したように非磁性材料層と接する磁性層に強磁性且つハーフメタル的な合金層を設けることで、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることができると考えられるが、しかし前記合金層がMnを多量に含む組成の場合には、非磁性材料層とこのMnとが拡散しやすく、拡散したMnはアップスピンの伝導電子のスピン拡散距離や平均自由行程を短くしてしまい、逆に抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)を低下させる虞があるものと考えられる。従って強磁性且つハーフメタル的な合金層がMnを多量に含む組成である場合には、前記合金層を非磁性材料層から離れた位置に形成することが抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図る上で好ましいものと思われる。

【0028】また本発明では、前記強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成された磁性層以外の磁性層はCoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金あるいはCoのいずれかの磁性材料で形成されることが好ましい。

【0029】また本発明では、前記固定磁性層及び/またはフリー磁性層は磁性層の3層構造からなり、それら3層のうち、真ん中の磁性層に強磁性且つハーフメタル的な合金層が形成されることが好ましい。このように前記非磁性材料層と前記合金層とを離すことで、上記したように非磁性材料層との間での拡散を防止し伝導電子のスピン拡散距離や平均自由行程を長く延ばすことができること、および前記合金層を反強磁性層からも離すことで前記固定磁性層と反強磁性層間で発生する交換結合磁界を大きなものにできるなどの効果を期待することができる。

【0030】なお本発明では、かかる場合、前記真ん中の磁性層以外の磁性層はCoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金あるいはCoのいずれかの磁性材料で形成されることが好ましい。

【0031】また本発明では、前記固定磁性層及び/またはフリー磁性層は、第1磁性層と第2磁性層間に非磁性中間層が介在する積層フェリ構造であり、少なくとも前記磁性層のうち非磁性材料層と接する側の第1磁性層が、上記した前記強磁性且つハーフメタル的な合金層を有する多層構造、あるいは前記強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造で形成されることが好ましい。

【0032】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1実施形態の磁気検出素子の全体構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお、図1ではX方向に延びる素子の中央部分のみを破断して示している。

【0033】図1に示す磁気検出素子は、記録媒体に記録された信号を再生するためのものである。図示していないが、この磁気検出素子上に、記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。

【0034】また前記磁気検出素子は、例えばアルミナチタンカーバイト($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$)で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。前記スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【0035】図1に示す符号10は、NiFe合金などの磁性材料で形成された下部シールド層10である。この実施形態では前記下部シールド層10が下部電極を兼ねている。

【0036】前記上部シールド層10の上には非磁性材料で形成された下地層11が形成されている。前記下地層11が下部ギャップ層を兼ねている。前記下地層11は、Ta、Hf、Nb、Zr、Ti、Mo、Wのうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。前記下地層11は例えば50Å以下程度の膜厚で形成される。

【0037】次に前記下地層11の上にはシードレイヤ12が形成される。前記シードレイヤ12を形成することで、前記シードレイヤ12上に形成される各層の膜面

と平行な方向における結晶粒径を大きくでき、耐エレクトロマイグレーションの向上に代表される通電信頼性の向上や抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上などをより適切に図ることができる。

【0038】前記シードレイヤ12はNiFe合金、NiFeCr合金やCrなどで形成される。前記シードレイヤ12は形成されていなくてもよい。

【0039】次に前記シードレイヤ12上には反強磁性層13が形成される。前記反強磁性層13は、元素X(ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Osのうち1種または2種以上の元素である)とMnとを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。あるいは前記反強磁性層13は、元素Xと元素X'(ただし元素X'は、Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である)とMnを含有する反強磁性材料により形成されることが好ましい。

【0040】これらの反強磁性材料は、耐食性に優れしかもブロッキング温度も高く次に説明する固定磁性層24との界面で大きな交換異方性磁界を発生し得る。また前記反強磁性層13は80Å以上で300Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。

【0041】次に前記反強磁性層13の上には固定磁性層20が形成されている。この実施形態では前記固定磁性層20は5層構造で形成されている。

【0042】前記固定磁性層20を構成する符号14の単層、および符号19の多層は磁性層であり、前記第2磁性層14と第1磁性層19との間に、Ruなどで形成された非磁性中間層15が介在し、この構成により、前記第2磁性層14と第1磁性層19の磁化方向は互いに反平行状態にされる。これはいわゆる積層フェリ構造と呼ばれる。なおこの明細書においては、積層フェリ構造において、非磁性材料層21と接する側の磁性層を第1磁性層と、もう一方の磁性層を第2磁性層と呼ぶ。前記非磁性中間層15は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0043】前記反強磁性層13と前記固定磁性層20の前記反強磁性層13に接する第2磁性層14との間には磁場中熱処理によって交換異方性磁界が発生し、例えば前記第2磁性層14の磁化がハイト方向(図示Y方向)に固定された場合、もう一方の第1磁性層19を構成する3層の磁性層はRKKY相互作用により、ハイト方向とは逆方向(図示Y方向と逆方向)に磁化され固定される。この構成により前記固定磁性層20の磁化を安定した状態にでき、また前記固定磁性層20と前記反強

磁性層13との界面で発生する交換異方性磁界を見かけ上大きくすることができる。

【0044】なお例えば、前記第2磁性層14の膜厚は10~70Å程度、多層からなる第1磁性層19の膜厚は、20Å~80Å程度で形成される。また非磁性中間層15の膜厚は3Å~10Å程度で形成される。

【0045】また前記第2磁性層14と第1磁性層19はそれぞれ単位面積当たりの磁気モーメントが異なっている。前記磁気モーメントは飽和磁化 $M_s \times$ 膜厚 t で設定され、前記第2磁性層14と第1磁性層19の磁気モーメントを異ならせることで適切に前記第2磁性層14と第1磁性層19を積層フェリ構造にすることが可能である。

【0046】前記固定第1磁性層19の上には非磁性材料層21が形成されている。前記非磁性材料層21は例えばCuなどの電気抵抗の低い導電性材料によって形成される。前記非磁性材料層21は例えば25Å程度の膜厚で形成される。

【0047】次に前記非磁性材料層21の上にはフリー磁性層26が形成される。この実施形態では、前記フリー磁性層26は磁性層の3層構造で形成される。また前記フリー磁性層26の全体の膜厚は、20Å以上で200Å以下程度の膜厚で形成されることが好ましい。

【0048】前記フリー磁性層26の上には、非磁性材料で形成された保護層25が形成されている。前記保護層25は上部ギャップ層をも兼ねる。前記保護層25は、Ta, Hf, Nb, Zr, Ti, Mo, Wのうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。前記保護層25は例えば50Å以下程度の膜厚で形成される。

【0049】図1に示すように、下地層11から保護層25までの多層膜に比べて、前記下部シールド層10は、トラック幅方向(図示X方向)に長く延ばされて形成されている。そして前記多層膜のトラック幅方向(図示X方向)の両側であって延出した前記下部シールド層10上には Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料で形成された絶縁層40が形成されている。この実施形態では前記絶縁層40の上面は、前記フリー磁性層26の下面より下側に形成され、前記絶縁層40上に形成されたCoPtCr合金などで形成されたハードバイアス層27が前記フリー磁性層26の両側端面に磁氣的に接続された状態になっている。なお前記ハードバイアス層27は前記フリー磁性層26の両側端面に少なくとも一部、磁氣的に接続されていればよい。前記ハードバイアス層27からの縦バイアス磁界が前記フリー磁性層26内に流入することで前記フリー磁性層26の磁化はトラック幅方向(図示X方向)と平行な方向に単磁区化される。前記フリー磁性層26の磁化状態は、前記固定磁性層20の磁化状態と異なって外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化されている。

【0050】前記ハードバイアス層27の上には Al_2

O_3 や SiO_2 などの絶縁材料で形成された絶縁層28が形成されている。このように前記ハードバイアス層27の上下は絶縁層40、28によって囲まれている。

【0051】図1に示すように、前記保護層25の上面と前記絶縁層28の上面はほぼ同一平面状に形成された状態にあり、前記保護層25上から前記絶縁層28上にかけてNiFe合金などの磁性材料で形成された上部シールド層29が形成されている。前記上部シールド層29は磁気検出素子の上部電極をも兼ねている。

【0052】図1に示す実施形態では、前記下部シールド層10及び上部シールド層29がシールド機能のみならず電極としても機能しているため、前記下地層11から保護層25間までの膜厚でギャップ長G1を決定でき、前記ギャップ長G1の長さ寸法を短くすることができる。

【0053】図1に示す実施形態では、下地層11から保護層25までの多層膜の上下に電極を兼用したシールド層10、29が形成され、前記シールド層10、29間を流れる電流は、前記多層膜を膜厚方向（図示Z方向）に流れるCPP（current perpendicular to the plane）型となっている。前記電流は、前記ハードバイアス層27の上下が絶縁層40、28で囲まれていることで、このハードバイアス層27に分流することなく適切に前記多層膜内を流れ、再生出力の向上を図ることが可能になっている。

【0054】この磁気検出素子では、ハードディスクなどの記録媒体の走行方向はZ方向であり、記録媒体からの洩れ磁界がY方向に与えられると、フリー磁性層26の磁化が図示X方向と平行な方向からY方向へ向けて変化する。このフリー磁性層26内での磁化の方向の変動と、固定磁性層20の第1磁性層19の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し（これを磁気抵抗効果という）、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0055】図1に示す磁気検出素子の特徴的部分について以下に説明する。図1に示す実施形態では、前記非磁性材料層21と接する側の固定磁性層20の第1磁性層19が磁性層の3層構造となっている。前記第1磁性層19が実際に磁気抵抗効果に寄与する層であるので、特にこの第1磁性層19を以下のような構造にすることで、従来に比べて高い抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を得ることが可能になる。

【0056】前記第1磁性層19を構成する3層の磁性層のうち真ん中の磁性層17が強磁性且つハーフメタル的な合金層である。「強磁性」である必要性は、この合金が使用される層が第1磁性層19の一部を成し、磁化をハイト方向（図示Y方向）に適切にピン止めする必要があるからである。ここで「ハーフメタル（Half-metallic）」とは、強磁性体や反強磁性体において、片方のスピンの伝導電子が金属的な振る舞いをし、他方のスピ

ンの伝導電子が絶縁体的な振る舞いをすることをいう。

【0057】抵抗変化量（ ΔR ）は、 $[\beta^2 / (1 - \beta^2)] \cdot \rho_F \cdot t_F$ に比例する。ここで β は、磁性層17の材質によって変化する値（なお β は-1よりも大きく1よりも小さい範囲内の値）であり、この β 値が大きいほど抵抗変化量（ ΔR ）を大きくできる。前記強磁性且つハーフメタル的な合金の β 値は、従来、強磁性層として使用されてきたCoFe合金やNiFe合金のそれに比べて大きく、これによって「ハーフメタル的」な性質を帯びる。なお本発明では、0.7以上の β 値（絶対値）を有し、あるいは後述する分極率P（絶対値）を0.5以上有する強磁性合金を「ハーフメタル的」と規定する。

【0058】前記 β 値には、 $\rho \downarrow$ （ダウンスピンの伝導電子に対する比抵抗値）/ $\rho \uparrow$ （アップスピンの伝導電子に対する比抵抗値） $= (1 + \beta) / (1 - \beta)$ なる関係が成り立っている。すなわち β 値が大きくなるということは、 $\rho \downarrow$ が大きくなり且つ $\rho \uparrow$ が小さくなることを意味する。

【0059】従って前記 β 値が大きくなるほど、ダウンスピンの伝導電子に対する比抵抗値（ $\rho \downarrow$ ）は大きくなるから強磁性層内を前記ダウンスピンの伝導電子は流れ難くあるいはシャットアウトされて前記ダウンスピンの伝導電子の平均自由行程は短くなり（絶縁的な挙動を示す）、一方、アップスピンの伝導電子に対する比抵抗値（ $\rho \uparrow$ ）は小さくなるから強磁性層内を前記アップスピンの伝導電子は流れやすくなり前記アップスピンの伝導電子の平均自由行程は延び（金属的な挙動を示す）、前記アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差が大きくなると考えられる。このような作用はスピン偏極性と呼ばれ、 β 値が高い、具体的には0.7以上の β 値（絶対値）を有する強磁性且つハーフメタル的な合金は、このスピン偏極性が強く働き、前記平均自由行程差はよりいっそう大きくなる。

【0060】そして抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）は、アップスピン及びダウンスピンの伝導電子の各平均自由行程差に対して正の相関を示すから、従来よりも前記 β 値が大きいハーフメタル的な合金を使用したことによるアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差の拡大によって抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）が増大し、今後の高記録密度化に適切に対応することが可能な磁気検出素子を製造することが可能になるのである。

【0061】「ハーフメタル的」な性質を有するか否かは、上記した β 値以外に分極率Pの大きさによって判断することもできると考えられる。前記分極率Pは β 値と相関があり、分極率Pが大きいと β 値（絶対値）が大きくなることがわかっている。

【0062】前記分極率Pの大きさは抵抗変化量（ ΔR ）に比例するので、前記分極率Pが大きくなるほど前

記抵抗変化量 (ΔR) を大きくすることができる。前記分極率 P は $P = (N\uparrow - N\downarrow) / (N\uparrow + N\downarrow)$ (ただし P は、 $-1 \leq P \leq 1$ である) で示され、 $N\uparrow$ は、フェルミエネルギー付近におけるアップスピンの伝導電子数であり、 $N\downarrow$ は、フェルミエネルギー付近におけるダウンスピンの伝導電子数であり、フェルミエネルギー付近における伝導電子が、実際に伝導に寄与する。

【0063】上記関係式によれば、 $N\uparrow$ が大きくなり {すなわちフェルミエネルギー近傍の状態密度が高くなり (=個数が多くなり)}、 $N\downarrow$ が小さくなる {すなわちフェルミエネルギー近傍の状態密度が低くなる (=個数が少なくなる)} ほど分極率 P は大きくなり、よって抵抗変化量 (ΔR) は大きくなる。

【0064】 $N\uparrow$ が大きくなり $N\downarrow$ が小さくなるということは、強磁性層内をアップスピンによる伝導電子が流れやすくなって前記アップスピンの伝導電子の平均自由行程が延び、一方、ダウンスピンによる伝導電子が流れ難くなりあるいはシャットアウトされて前記ダウンスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなったことを意味し、よって前記アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差が大きくなって、抵抗変化量 (ΔR) が大きくなるものと考えられる。

【0065】従って前記分極率 P が大きい強磁性且つハーフメタル的な合金を磁性層 17 として使用することが好ましい。具体的には前記分極率 P (絶対値) は 0.5 以上であることが好ましい。本発明では、前記分極率 P (絶対値) が 0.5 以上である強磁性材料を「ハーフメタル的」な性質を有しているものとする。

【0066】なおスピン偏極性の大きさは、フリー磁性層 26 と固定磁性層 20 との相対的な磁化方向の関係で変化する。

【0067】また強磁性且つハーフメタル的な合金層は、CoFe 合金などに比べて比抵抗値 (ρ_F) も大きいので、前記第 1 磁性層 19 の真ん中の磁性層 17 を強磁性且つハーフメタル的な合金層とすることで、抵抗変化量 (ΔR) 及び抵抗変化率 ($\Delta R/R$) を向上させることができる。なおここで言う「比抵抗値 (ρ_F)」とは、アップスピンの伝導電子に対する比抵抗値とダウンスピンの伝導電子に対する比抵抗値の平均値のことである。

【0068】前記磁性層 17 として使用される材質は、上記したように強磁性且つハーフメタル的な合金であることと、さらにキュリー温度 (T_c) が 200℃ 以上であることが好ましい。前記キュリー温度 (T_c) が 200℃ よりも低いと使用環境温度等からして実際にデバイスとして使用できない。また比抵抗 ρ_F は、 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であることが好ましい。これによって従来、磁性層として CoFe 合金などを使用していた場合に比べて、より適切に抵抗変化量 (ΔR) 及び抵抗変化率 ($\Delta R/R$) の向上を図ることができる。本発明では、前記

抵抗変化率 ($\Delta R/R$) は 30% 以上であることが好ましい。

【0069】前記強磁性且つハーフメタル的な合金層の材質として本発明では以下の (1) ~ (3) の材質を挙げることができる。

(1) 組成式が X_2YZ (ただし X は、周期表の IIIA 族から IIIB 族までのうちから選択された一元素、 Y は Mn、 Z は、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sb のうちから選択された 1 種または 2 種以上の元素) で表されるホイスラー合金。

【0070】このホイスラー合金の結晶構造は、L2 構造である。具体的な材質としては、 Co_2MnZ (Z は、Al、Si、Ga、Ge、Sn のうちから選択された 1 種または 2 種以上の元素) を挙げることができる。

【0071】また元素 Z を 2 種類以上含んだホイスラー合金としては具体的に、 $\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.25}(\text{Al}_{100-a}\text{Si}_a)_{0.25}$ (ただし a は 0 ~ 100) を挙げることができる。

【0072】(2) 組成式が XYZ (ただし X は、周期表の IIIA 族から IIIB 族までのうちから選択された一元素、 Y は Mn、 Z は、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sb のうちから選択された 1 種または 2 種以上の元素) で表されるホイスラー合金。

【0073】このホイスラー合金の結晶構造は、C12 構造である。具体的な材質としては、NiMnSb、PtMnSb、PdMnSb、PtMnSn を挙げることができる。

【0074】これら材質の具体的な分極率 P について説明する。上記した「Andreev reflection: A new means to determine the spin polarization of ferromagnetic materials」(1999 American Institute of Physics) のグラフ 4 には、NiMnSb の分極率 P が 0.55 であることが開示されている。

【0075】また「New Class of Materials: Half-Metallic Ferromagnets」(1983 The American Physical Society) の表 1 には、理論計算により求めた NiMnSb、PtMnSb、PdMnSb、PtMnSn の $N(E)\uparrow$ 、 $N(E)\downarrow$ が記載されており、この数値を用いて分極率 P を計算すると、NiMnSb の分極率 P は 1、PtMnSb の分極率 P は 1、PdMnSb の分極率 P は 0.51、及び PtMnSn の分極率 P は -0.33 である。なお PtMnSn は組成比を調整することで分極率 P を絶対値で 0.5 以上にできるものと考えられる。

【0076】(3) $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 、 CrO_2 、あるいは F_3O_4

なお上記した「Andreev reflection: A new means to determine the spin polarization of ferromagnetic materials」(1999 American Institute of Physics) のグラフ 4 には、 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ の分極

率 P が0.55、 CrO_2 の分極率 P が0.9であることが開示されている。

【0077】上記したホイスラー合金、あるいは $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 、 CrO_2 、 Fe_3O_4 は、いずれも β 値（絶対値）が0.7以上あるいは分極率 P （絶対値）が0.5以上で強磁性且つハーフメタル的な性質を有し、これらの材質のいずれかで磁性層17を形成することで、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を従来に比べて向上させることができる。またこれら材質はいずれもキュリー温度（ T_c ）が200℃以上で、また比抵抗値（ ρ_f ）も $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上と大きい。

【0078】次に前記磁性層17の上下に形成されている磁性層16と18は、従来から使用されている磁性材料、具体的には CoFe 合金、 CoFeNi 合金、あるいは NiFe 合金、 Co のいずれかで形成されることが好ましい。

【0079】まず非磁性材料層21と接して形成される磁性層18を、 CoFe 合金などの磁性材料で形成することで、この磁性層18と非磁性材料層21間での元素の拡散をより適切に防止でき、アップスピンの伝導電子のスピンドiffusion距離や平均自由行程を長く延ばし、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）の向上を適切に図ることが可能である。

【0080】例えば、前記磁性層18が、上記した

(1)や(2)のホイスラー合金であると、前記ホイスラー合金に含まれる Mn が、 Cu などで形成された非磁性材料層21と拡散し、拡散した Mn はアップスピンの伝導電子のスピンドiffusion距離や平均自由行程を短くし抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を低下させてしまう虞がある。従って図1のように、強磁性且つハーフメタル的な合金で形成された磁性層17を、前記非磁性材料層21から離れた位置に形成し、前記磁性層17と非磁性材料層21との間に CoFe 合金などで形成された磁性層18を介在させることで、上記した拡散を適切に防止することが可能になると考えられる。なお前記磁性層18は CoFe 合金で形成することがより上記した拡散を防止できて好ましい。

【0081】次に図1に示すように、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成された磁性層17と Ru などで形成された非磁性中間層15との間に CoFe 合金などで形成された磁性層16を介在させることで、前記第2磁性層14との間で発生するRKKY相互作用による反強磁性結合を強めることができると考えられ、前記第1磁性層19の磁化のピン止めを適切に行うことが可能になる。

【0082】図1に示す固定磁性層20は、第2磁性層14と第1磁性層19との間に Ru などの非磁性中間層15を挟んだ積層フェリ構造であり、固定磁性層20の磁化のピン止めを強めるには、前記第2磁性層14と第1磁性層19間で発生するRKKY相互作用における反

強磁性結合を強める必要がある。このRKKY相互作用における反強磁性結合を強めるには、非磁性中間層15と接する上下の磁性層14、16を CoFe 合金などの磁性材料で形成することが好ましく、したがって本発明では、前記磁性層16を CoFe 合金などの磁性材料で形成することとしたのである。なお前記磁性層16は CoFe 合金で形成されることが、より適切にRKKYの相互作用における反強磁性結合を強めることができて好ましい。

【0083】次に図1に示す実施形態では、フリー磁性層26が磁性層の3層構造であり、この3層の磁性層のうち真ん中の磁性層22は、強磁性且つハーフメタル的な合金層であり、その上下に形成された磁性層23、30は CoFe 合金、 CoFeNi 合金、 Co のいずれかの磁性材料で形成されていることが好ましい。

【0084】前記フリー磁性層26も、固定磁性層20と同様に強磁性且つハーフメタル的な合金層を含むことで、アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差を大きくでき、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を向上させることができ、今後の高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を形成することができる。

【0085】また非磁性材料層21と接する磁性層30を CoFe 合金などの磁性材料で形成することで、前記磁性層30と非磁性材料層21間での拡散を適切に防止でき、アップスピンの伝導電子のスピンドiffusion距離や平均自由行程を適切に延ばすことができ、より適切に抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を大きくすることができる。前記磁性層30は CoFe 合金で形成されると、より適切に上記の拡散を防止することが可能になる。

【0086】また強磁性且つハーフメタル的な合金よりも保磁力 H_c の小さい材質で前記磁性層23を形成することで、前記フリー磁性層26の記録磁界に対する感度を向上させることができる。前記磁性層23は NiFe 合金で形成されることがより好ましい。

【0087】前記フリー磁性層26は、外部磁界に対して感度良く磁化反転しなければならない。そうでないと再生特性に優れた磁気検出素子を製造できないからである。上記した(1)～(3)のホイスラー合金等の強磁性且つハーフメタル的な合金は保磁力 H_c が大きいものが多い。具体的には100e（＝約790（A/m））以上である。また非磁性材料層21と接して形成される磁性層30が CoFe 合金で形成される場合には、前記 CoFe 合金の保磁力 H_c も比較的大きい。従って、前記フリー磁性層26の外部磁界に対する感度を向上させるには、保磁力 H_c の小さい磁性層を前記フリー磁性層23内に付加することが好ましい。それが前記磁性層23であり、 NiFe 合金で形成された前記磁性層23は、強磁性且つハーフメタル的な合金や CoFe 合金などで

形成された磁性層に比べて保磁力 H_c が小さく、よって前記フリー磁性層26に保磁力 H_c の小さい磁性層23を設けることで、外部磁界に対して感度良く磁化反転可能な再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能になるのである。

【0088】ところで図1のように固定磁性層20及びフリー磁性層26を構成する全ての磁性層は、既に説明した β 値の符号及びP値の符号がすべて同じ符号となる材質で形成される必要がある。

【0089】すなわち例えば強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成された磁性層17、22が正の値の β 値を有しているとする、磁性層16、18、30、23も同様に正の値の β 値を有する磁性材料で形成されていなければならない。正の値の β 値を有し、且つこの β 値が高い（具体的には0.7以上）強磁性且つハーフメタル的な合金層には、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を延ばし（金属的な挙動を示す）、一方、ダウンスピンの伝導電子の平均自由行程を短くする（絶縁的な挙動を示す）作用（スピン偏極性）が強く働き、アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差がCoFe合金などの金属的な材質を使用する場合に比べて大きくなる。

【0090】一方、負の値を有する強磁性且つハーフメタル的な合金層は、逆にダウンスピンの伝導電子の平均自由行程を延ばし、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を縮める作用が働く。このことは分極率Pにも同じく言えることである。

【0091】ここで、CoFe合金などで形成された磁性層16、18、30、23にも上記したスピン偏極性があるが、これら磁性層の β 値は正の値である。したがって、仮に強磁性且つハーフメタル的な合金層である磁性層17、22が、負の値を有する β 値を有している、正の値の β 値を有する磁性層16、18、30、23との間で、上記のスピン偏極性が打ち消されてしまい、アップスピンの伝導電子の平均自由行程とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程との差を適切に大きくできず、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を効果的に大きくすることができなくなる。

【0092】なおPtMnSbのように、 β 値が負、分極率Pが負の値である場合、固定磁性層20及びフリー磁性層26も同様にして負の β 値、分極率Pを有する強磁性材料を選択することが、スピン偏極性が大きく、抵抗変化量（ ΔR ）を効果的に大きくすることができる。例えばこのような強磁性材料としては、FeV（ β 値は約-0.11）、NiCr（ β 値は約-0.24~-0.11）、FeCr（ β 値は約-0.09）などがある。

【0093】そのため本発明では、固定磁性層20及びフリー磁性層26を構成する全ての磁性層16、17、18、30、22、23を、 β 値が同じ符号を有する材

質で形成し、これによって前記スピン偏極性が相乗的に強くなり、より効果的に前記アップスピンの伝導電子の平均自由行程とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程との差を大きくでき、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）の向上を適切に図ることが可能になるのである。

【0094】なお上記した、全ての磁性層において同じ符号の β 値あるいは分極率Pを有する材質を使用する点については図2以降についても同じである。

【0095】図2は本発明における第2実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図2以降の説明は、固定磁性層20とフリー磁性層26の膜構造のみに注目しているが、それ以外の層の構成については図1と変わるところがないので図1を参照されたい。

【0096】図2に示す固定磁性層20の第1磁性層19は2層構造である。このうち磁性層17は、強磁性且つハーフメタル的な合金層であり、磁性層16は、CoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、Coのいずれかの磁性材料で形成された合金層であることが好ましい。

【0097】また図2に示す実施形態では、前記フリー磁性層26も固定磁性層20の第1磁性層19と同様に2層構造であり、磁性層22が強磁性且つハーフメタル的な合金層であり、磁性層23がCoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、あるいはCoから選択された磁性材料で形成されることが好ましい。

【0098】前記強磁性且つハーフメタル的な合金層は、組成式が X_2YZ （ただしXは、周期表のIIIA族からIIB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金や、組成式が XYZ （ただしXは、周期表のIIIA族からIIB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金、あるいは $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ 、 CrO_2 、 F_3O_4 などで形成されることが好ましい。

【0099】前記固定磁性層20及びフリー磁性層26に、上記した強磁性且つハーフメタル的な合金層が含まれることによって、アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差を従来に比べて大きくでき、抵抗変化量（ ΔR ）及び抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）の向上を図ることが可能になる。

【0100】なお前記固定磁性層20及びフリー磁性層26の非磁性材料層21と接する磁性層17、22を強磁性且つハーフメタル的な合金層にすると、前記合金層にMnが含まれている場合、前記非磁性材料層21との間でMnの拡散が発生する虞があるため、図2に示す実

施形態は図1に示す実施形態に比べて、前記抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)が小さくなりやすいと考えられるが、従来のように第1磁性層19、およびフリー磁性層26をCoFe合金層やNiFe合金層などの磁性材料のみで形成した場合より前記抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)を向上させることができると考えられる。

【0101】なお本発明では、前記強磁性且つハーフメタル的な合金層を上記の拡散が発生しにくいホイスラー合金やCrO₂、F₃O₄などで形成することが好ましい。

【0102】また上記の拡散は、固定磁性層20を構成する第2磁性層14と反強磁性層13間で交換結合磁界を発生させるときに施す熱処理工程に起因するところが大きいので、例えば交換結合磁界を発生させるのに熱処理工程が必要ない、あるいは必要であってもその熱処理温度が低い場合などは、そもそも上記の拡散は起こり難く、かかる場合には、材質に制約なく強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる磁性層17、22を形成することが可能になる。

【0103】図3は本発明における第3実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0104】図3に示す実施形態では図2と同様に、固定磁性層20を構成する第1磁性層19及びフリー磁性層26は2層構造であるが、非磁性材料層21と接する磁性層18及び磁性層30は、強磁性且つハーフメタル的な合金層ではなく、CoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、Coなどの磁性材料で形成された層である。この磁性層18、30は、CoFe合金で形成されることが、非磁性材料層21間での拡散をより適切に防止できて好ましい。

【0105】この図3に示す実施形態では、前記非磁性材料層21から離れた磁性層17及び磁性層22が、強磁性且つハーフメタル的な合金層である。

【0106】前記強磁性且つハーフメタル的な合金層は、組成式がX₂YZ（ただしXは、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金や、組成式がXYZ（ただしXは、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金、あるいはLa_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃、CrO₂、F₃O₄などで形成されることが好ましい。

【0107】前記固定磁性層20及びフリー磁性層26に、上記した強磁性且つハーフメタル的な合金層が含まれることによって、アップスピンの伝導電子とダウンス

ピンの伝導電子との平均自由行程差を従来に比べて大きくでき、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能になる。

【0108】図3に示す実施形態では、固定磁性層20を構成する第1磁性層19のうち非磁性中間層15と接する磁性層17が、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成されているので、図1の実施形態に比べて、第1磁性層19と第2磁性層14間で発生するRKKY相互作用による結合磁界は弱まる虞があるが、例えば前記磁性層17の膜厚を薄くする（具体的には10Å以下）などすれば、前記RKKY相互作用による結合磁界の弱まりを抑制でき、適切に前記第1磁性層19の磁化をピン止めすることが可能になる。

【0109】図4は本発明における第4実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0110】図4に示す実施形態では、固定磁性層20の膜構成は、図1に示す固定磁性層20の膜構成と同じである。

【0111】図4では、フリー磁性層26が第1磁性層31と第2磁性層33間にRuなどの非磁性中間層32が介在した積層フェリ構造である。

【0112】図4に示すように前記フリー磁性層26を構成する第1磁性層31は3層構造である。前記3層のうち真ん中の磁性層22は、強磁性且つハーフメタル的な合金層である。

【0113】前記強磁性且つハーフメタル的な合金層は、組成式がX₂YZ（ただしXは、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金や、組成式がXYZ（ただしXは、周期表のⅠⅠⅠA族からⅠⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素）で表されるホイスラー合金、あるいはLa_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃、CrO₂、F₃O₄などで形成されることが好ましい。

【0114】前記磁性層22の上下に形成された磁性層23、30は、CoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、Coのうちいずれかの磁性材料で形成されることが好ましい。前記非磁性材料層21と接する磁性層30は、前記非磁性材料層21との拡散を適切に防止すべく、前記の磁性材料のうちCoFe合金で形成されることがより好ましい。

【0115】また前記磁性層23は、前記フリー磁性層26の外部磁界に対する感度を向上させるために保磁力H_cの小さい材質で形成されることが好ましく、前記磁性層23はNiFe合金で形成されることが好ましい。なお磁性層23と非磁性中間層32との間、および/ま

たは磁性層33と非磁性中間層32との間には、RKKY相互作用による反強磁性結合を大きくするためCoFe合金層を設けても良い。

【0116】積層フェリ構造で形成されたフリー磁性層26は、その両側に形成されたハードバイアス層27からの縦バイアス磁界の影響を受けて、例えば前記フリー磁性層26の3層の第1磁性層31が図示X方向に磁化されると、前記第2磁性層33の磁化は、前記第1の磁性層31と第2磁性層33間で発生するRKKY相互作用による結合磁界によって前記第1磁性層31の磁化方向とは反平行に磁化される。

【0117】図4に示す実施形態では、固定磁性層20の第1磁性層19に、強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる磁性層17を有し、さらにフリー磁性層26の第1磁性層31に、強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる磁性層22を有し、よってアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差を従来に比べて大きくでき、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能になる。

【0118】図5は第5実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0119】図5に示す実施形態では、固定磁性層20及びフリー磁性層26が共に、積層フェリ構造ではなく、磁性層の多層構造のみで形成されている。図5に示すように前記固定磁性層20は、磁性層の3層構造であり、その真ん中の磁性層17が、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成されている。前記磁性層17の上下に形成されている磁性層16、18は、CoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、Coのいずれかの磁性材料で形成されていることが好ましい。

【0120】反強磁性層13と、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成された磁性層17との間に、CoFe合金などの磁性材料で形成された磁性層16が介在することによって前記反強磁性層13と前記磁性層16間で発生する交換結合磁界を大きくすることができ、前記固定磁性層20の磁化のピン止めを適切に行うことができるものと考えられる。前記磁性層16はCoFe合金で形成されることがより好ましく、これによって前記磁性層16と反強磁性層13間で発生する交換結合磁界を効果的に大きくすることができる。

【0121】また図5に示す実施形態ではフリー磁性層26が磁性層の2層構造であり、磁性層22は、強磁性且つハーフメタル的な合金層であり、一方、磁性層23はCoFe合金、CoFeNi合金、NiFe合金、Coのいずれかの磁性材料で形成されていることが好ましい。

【0122】なお前記フリー磁性層26は磁性層の2層構造であるが、これが図1に示すような磁性層の3層構造であってもよく、あるいは2層構造であっても図3のような、強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる磁

性層22と、前記磁性層22と非磁性材料層21との間にCoFe合金などからなる磁性層30とが設けられた膜構成であってもよい。

【0123】図5に示す実施形態では、固定磁性層20及びフリー磁性層26は、強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる磁性層17、22を有し、よってアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差を従来に比べて大きくでき、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能になる。

【0124】図6は本発明における第6実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0125】図6に示す実施形態では、固定磁性層20は、第2磁性層14と第1磁性層19との間にRuなどからなる非磁性中間層15が介在した積層フェリ構造であるが、前記第1磁性層19は、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層からなり、図1ないし図5のような多層構造ではない。

【0126】図6に示すフリー磁性層26も、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造である。

【0127】前記第1磁性層19やフリー磁性層26が、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造であれば、容易にこれらの層を形成することができる。

【0128】また前記強磁性且つハーフメタル的な合金層に、既に説明した β 値が負の値となる材料(例えばPtMnSnなど)を使用したとき、CoFe合金やNiFe合金など従来、一般的に磁性層として用いられてきた材質は β 値が正の値であるため、これらCoFe合金と、 β 値が負の値となる強磁性且つハーフメタル的な合金層とを組み合わせると、スピン偏極性が相殺されてしまい大きな抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)を得ることができず、よって β 値が負の値となる強磁性且つハーフメタル的な合金層は単層で形成することが好ましい。かかる場合、磁性層である第2磁性層14、第1磁性層19及びフリー磁性層26をすべて負の β 値を有する強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成することが好ましい。

【0129】図7は本発明における第7実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0130】図7に示す実施形態では固定磁性層20は、積層フェリ構造ではなく、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造である。同様にフリー磁性層26も積層フェリ構造ではなく、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造である。

【0131】前記固定磁性層20やフリー磁性層26が、強磁性且つハーフメタル的な合金層の単層構造であれば、容易にこれらの層を形成することができる。

【0132】図6、7に示すように、固定磁性層20や

フリー磁性層26が、強磁性且つハーフメタル的な合金層で形成されていれば、アップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差を従来に比べて大きくでき、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を図ることが可能になる。

【0133】以上のように本発明は、図1ないし図7に示すようにCIP型の磁気検出素子に関わるものであるが、本発明の特徴的部分である強磁性且つハーフメタル的な合金層を、CIP (current in the plane) 型、すなわち電流を多層膜の膜面(図示X方向)と平行な方向に流すタイプの磁気検出素子に使用した場合には、抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の増大をほとんど見込めないものと考えられる。その理由は、強磁性且つハーフメタル的な合金層は比抵抗が大きいので他層へのシャントロスが大きくなるからである。

【0134】よって本発明における強磁性且つハーフメタル的な合金層は、CIP型の磁気検出素子に使用されると、より効果的に抵抗変化量(ΔR)及び抵抗変化率($\Delta R/R$)の増大を図ることができる。

【0135】なお、図1ないし図7に示す磁気検出素子では、固定磁性層20及びフリー磁性層26の双方に、強磁性且つハーフメタル的な合金層が含まれていたが、この合金層は、前記固定磁性層20及びフリー磁性層26の少なくとも一方の層に含まれていればよい。

【0136】また図1ないし図7に示す実施形態では、強磁性且つハーフメタル的な合金層が含まれている部分の磁性層の多層構造は、最大で3層構造(例えば図1の第1磁性層19やフリー磁性層26を参照のこと)であったが、これが4層以上であってもよい。またかかる場合、前記強磁性且つハーフメタル的な合金層はどの積層位置に形成されていてもよい。

【0137】また図1ないし図7に示す実施形態には、フリー磁性層26側が積層フェリ構造で、固定磁性層20側が、積層フェリ構造ではなく磁性層のみの単層構造あるいは多層構造である形態はないが、当然にこのような形態であってもかまわない。

【0138】また図4に示す固定磁性層20やフリー磁性層26が積層フェリ構造である場合、第2磁性層14、33側も、第1磁性層19、31のように強磁性且つハーフメタル的な合金層からなる単層構造、あるいは前記強磁性且つハーフメタル的な合金層を含んだ多層構造で形成されていてもかまわない。

【0139】さらに図1ないし図7には図示されていない固定磁性層20の積層構造とフリー磁性層26の積層構造の組合わせ、例えば図1に示す固定磁性層20の積層構造と図2に示すフリー磁性層26の積層構造とが組み合わされた磁気検出素子であってもよいことは言うまでもない。

【0140】また図1ないし図7に示す磁気検出素子では、全て、下から反強磁性層13、固定磁性層20、非

磁性材料層21およびフリー磁性層26の順に積層形成されているが、これが下からフリー磁性層26、非磁性材料層21、固定磁性層20及び反強磁性層13の順に積層形成されていてもよい。

【0141】さらに図1ないし図7に示す磁気検出素子は、固定磁性層とフリー磁性層とが1層ずつ設けられたシングルスピンバルブ型薄膜素子と呼ばれる構造であるが、本発明は、下から反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、反強磁性層からなるデュアルスピンバルブ型薄膜素子と呼ばれる構造などにも適用可能である。

【0142】なお本発明における磁気検出素子は、ハードディスク装置に搭載される薄膜磁気ヘッドにのみ使用可能なものではなく、テープ用磁気ヘッドや磁気センサなどにも使用可能なものである。

【0143】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、固定磁性層及びフリー磁性層の少なくとも一方は、強磁性且つハーフメタル的な合金層を有して形成されている。

【0144】従来、磁性層に使用されていたCoFe合金などの磁性材料は、金属的な性質を有していたが、ハーフメタル的な性質を有する合金層を用いることで、 β 値が大きくなり、また比抵抗値 ρ も大きくなることから、従来よりも抵抗変化量 ΔR を大きくすることができ、抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を適切に図ることが可能になる。

【0145】前記強磁性且つハーフメタル的な合金層は、例えば組成式が X_2YZ (ただしXは、周期表のIⅠA族からIⅠB族までのうちから選択された一元素、YはMn、Zは、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn、Tl、Pb、Sbのうちから選択された1種または2種以上の元素)で表されるホイスラー合金で形成されることが好ましい。

【0146】また本発明では、固定磁性層及びフリー磁性層に含まれる強磁性且つハーフメタル的な合金層の形成位置を適正化することで、より効果的に抵抗変化量 ΔR を大きくすることができ、抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上を適切に図ることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における第1の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図2】本発明における第2の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図3】本発明における第3の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図4】本発明における第4の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図5】本発明における第5の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図6】本発明における第6の実施形態の磁気検出素子

を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図7】本発明における第7の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図8】従来における磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【符号の説明】

- 10 下部シールド層
- 11 下地層
- 12 シードレイヤ
- 13 反強磁性層

14、33 第2磁性層

15、32 非磁性中間層

16、17、18、22、23、30 磁性層

19、31 第1磁性層

20 固定磁性層

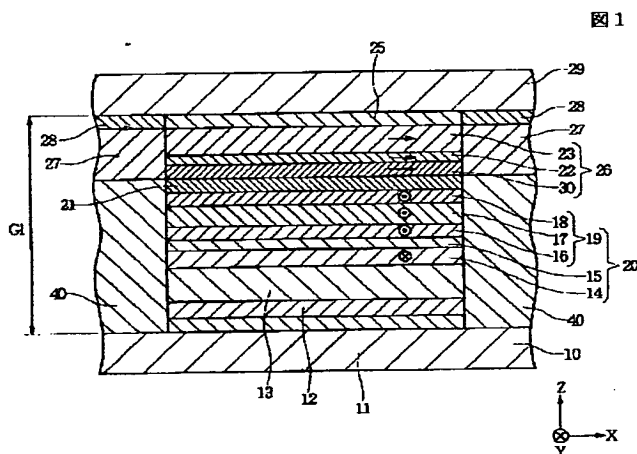
21 非磁性材料層

25 保護層

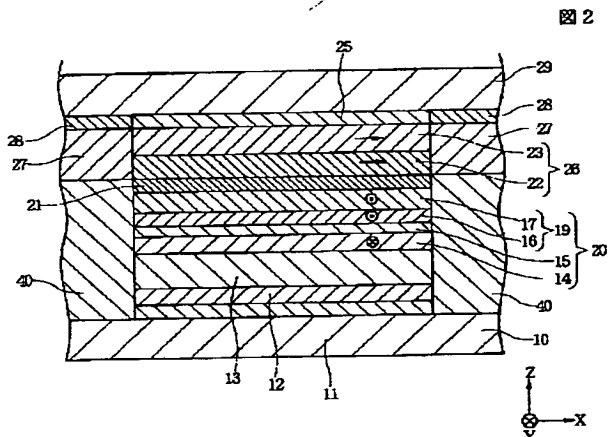
26 フリー磁性層

29 上部シールド層

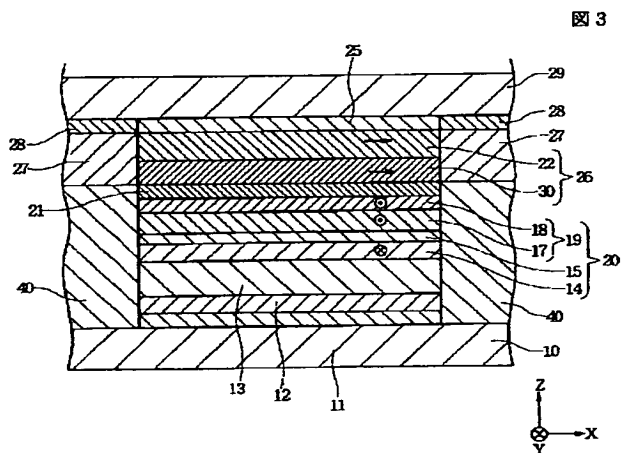
【図1】



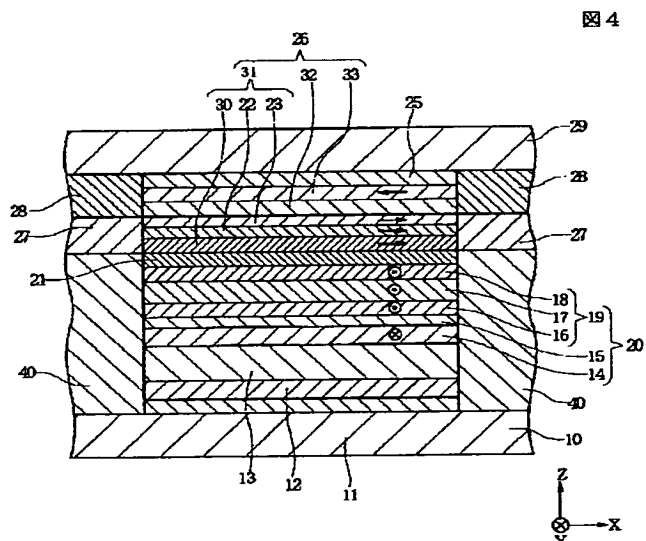
【図2】



【図3】

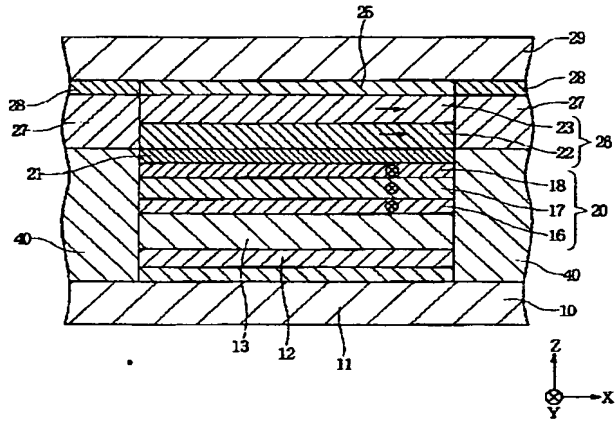


【図4】



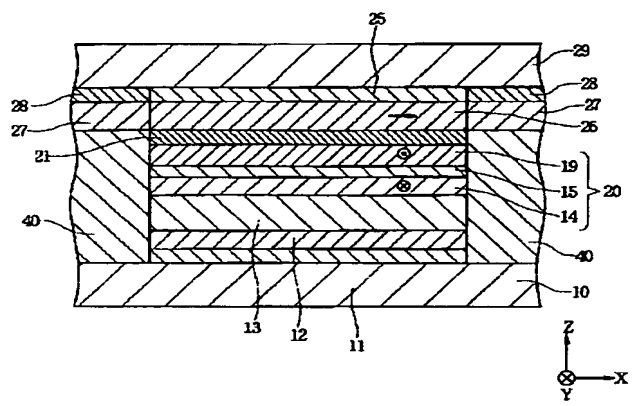
【図5】

図5



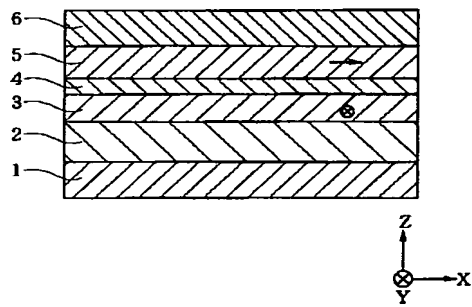
【図6】

図6



【図8】

図8



【図7】

図7

